

オイルリングの給油性能

(長方形断面リングの場合について)

井 沢 実

目 次

1. ま え が き.....	135
2. 実験装置と方法.....	136
3. 実験結果と考察.....	137
3.1 リング速度とリング浸漬深さ.....	137
3.2 揚油量とリング浸漬深さ.....	138
3.3 リング速度の実験式.....	138
3.4 臨界浸漬深さについて.....	141
3.5 揚油量の実験式.....	142
4. む す び.....	143

オイルリングの給油性能

(長方形断面リングの場合について)

井 沢 実

On the oil feeding performance of oil-ring

(on the case of oil-ring with rectangular cross section)

MINORU IZAWA

The oil-ring bearing is a self-lubricating bearing, which requires the minimum care of maintenance. Because of its simple construction, this bearing works quite smooth without any trouble. For this reason, the oil-ring bearing has been widely used in the various kinds of rotating machinery up to the present time.

Regarding to the working behaviour and the oil feeding mechanism of the ring, many studies have been performed, but the design data have not always been sufficient concerning the applied cases of the ring.

This paper presents the method of design computation for the oil-ring with rectangular cross section, obtained from many experimental results using dimension analysis.

1. ま え が き

すべり軸受に対する給油方法の1種としてかなり広範囲にわたって使用されているリング給油法は、その構造が簡単であって故障のおそれのほとんど無いことや、軸の回転にともなって自動的に軸受に給油する方式であるため、給油の手間や、特別な装置を必要としないなどの特長を有している。このようなリング給油法で使用されるオイルリングはその作動条件ならびに形状寸法条件さえ適当に設計すれば、軸受に対する良好な潤滑状態を保持することが可能であり、例えば、100年間の長期にわたる使用に耐えたという記録⁽¹⁾も残されている。しかし、オイルリングの挙動やその給油機構は実はなかなか複雑なものであり、この点に関してはすでにいくつかの研究成果が発表されているが⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾、このようなリング給油方法を実際の設計に適用する場合に遭遇すると、揚油量やリング浸漬深さなどについて、必ずしも明確な指針となしうようなデータあるいは設計算式が十分にあるとはいえないようである。そこで筆者は、リング給油法の実例の場合に対する適用に主眼をおき、長方形断面をもつリングについて一連の実験を行ない、次元解析法を用いてとりまとめたので、その結果の概要を報告する。

2. 実験装置と方法

使用したオイルリングは軟鋼を長方形断面形状に種々の寸法に旋削仕上げしたもの13個であって、その大きさは表1に示すようである。使用した潤滑油はマシン油1号であって油温を変化

表1 使用したオイルリングの寸法表

呼 称	外 径 d_o (cm)	厚 さ t (cm)	内 径 d_i (cm)	幅 b (cm)	d_i/b	重 量 W (g)
D_1	10.0	0.29	9.42	1.29	7.3	87.1
D_2	10.0	0.29	9.42	0.95	9.9	62.1
D_3	9.98	0.29	9.40	0.68	13.8	46.7
D_4	10.0	0.33	9.34	0.40	23.4	29.7
D_5	9.0	0.33	8.34	1.00	8.3	70.4
D_6	8.03	0.33	7.37	1.12	6.6	61.8
D_7	9.98	0.29	9.40	0.54	17.4	36.5
D_8	9.98	0.29	9.40	0.44	21.4	30.2
D_9	8.0	0.28	7.44	1.35	5.5	68.0
D_{10}	10.0	0.33	9.34	0.35	26.7	25.9
D_{11}	10.0	0.33	9.34	0.30	31.1	22.3
D_{12}	10.0	0.33	9.34	0.25	37.4	18.6
D_{13}	10.0	0.33	9.34	0.20	46.7	14.9

させることにより、粘性係数を $0.624 \sim 1.994 \text{ g/s} \cdot \text{cm}$ の範囲に変えて実験を行なった。実験装置のあらましは図1に示す。図1で①はオイルリングであり、直径4.5cmの軸②にかけてその間の

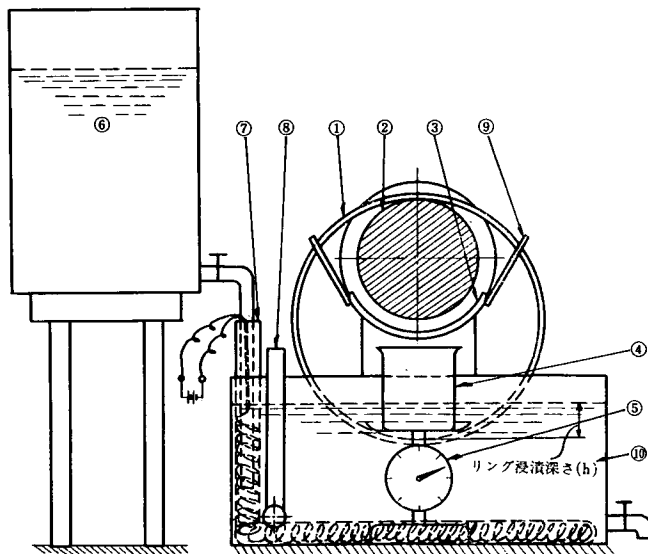


図1 実験装置

摩擦力などで駆動される。③は油うけであって、リングにより揚げられた油を受けてピーカ④

に流すための樋状をなしており、実際のリング軸受における軸受部分に相当する。⑤はピーカに溜められた油量を計測するための精密はかりである。⑥は油タンクで、実験中、油だめ⑩中の油面を⑧のマノメータで観察しながら常に一定状態に保つためコックを調整して潤滑油を供給する。⑦はガラス管で、この中には電熱線を通し、油だめの油を加熱するようにした。⑨はリングが運転中において軸から外れないようにするための案内板であり、一定の間隔をおいて左右各2枚のものでリングをはさむようにした。この案内板間隔は実際のリング軸受におけるリング案内部分と合わせるように、本実験では約2cmにとることとした。

つぎに実験方法としては、まず軸を回転するとリングも回転をはじめ、油を附着して油うけに流し出す。この場合、油だめの中の油面は時間の経過とともに低下するので、油タンクのコックを調節しながら常に一定状態に保つ。したがって、リングの油中に浸漬する深さも1種類の実験中は一定に保たれるようにした。実験したリング浸漬深さは0, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.5, 2.0 (cm) である。また、油だめ中の電熱線に通電し、実験中油温を一定に保持するようにした。軸の回転には可変速モータを使用し、毎分約100回転から700回転まで変え、したがって軸周速度で23.6~164.6 (cm/s) まで変化させる範囲内で実験を行なった。また、この間のリングの回転数は、リングにつけた白線を30秒間にわたって算えることとし、これより平均のリング内周速度を算出するようにした。つぎに、リングによる揚油量は30秒間の揚油重量を測定し、これより毎秒当りの平均揚油量を求めることとした。

3. 実験結果と考察

(3.1) リング速度とリング浸漬深さ

油の粘度を一定とした場合、種々の軸周速度Vについてリング浸漬深さとリング内周速度の関係を求めた1例は図2に黒丸点で示すようである。これよりリング速度は、リング浸漬深さが0より増加すると、はじ

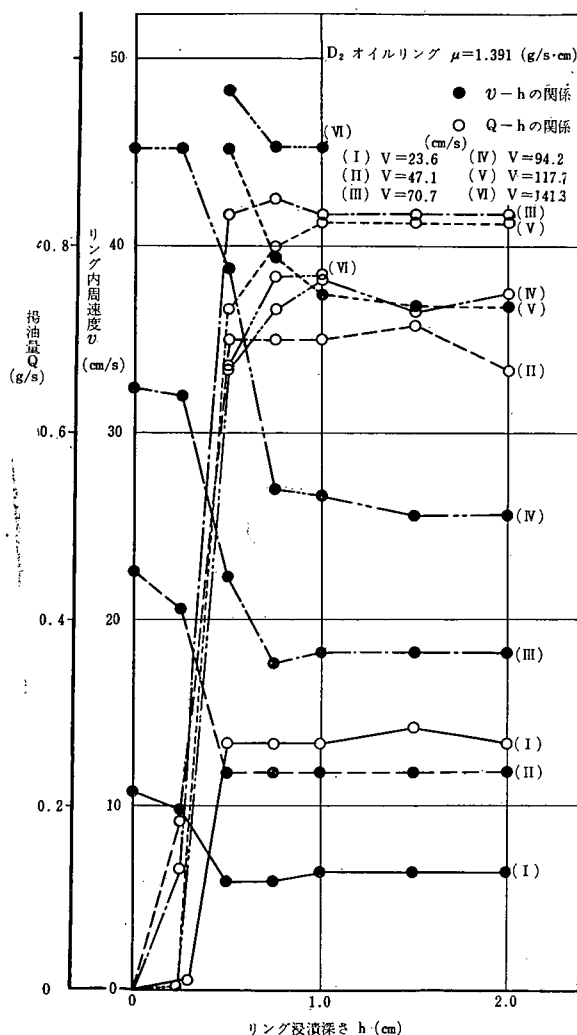


図2 リング浸漬深さとリング内周速度および揚油量との関係

めにかなり急激に低下するが、およそ0.5~1.0 (cm) に達するとほぼ一定値に落ち着くことがわかる。このようなリング浸漬深さを仮りに臨界浸漬深さとよぶことにする。

リングを回転するための駆動力は、リングと軸間の摩擦力および油の附着力であり、また、リング回転に対する抵抗力は、リングに対する油だめ中の油の粘性抵抗である。そこで、浸漬深さを0より逐次に増加していくと、リングによって運び込まれる油のため、リングと軸との間の接触面には流体油膜が形成されはじめ、乾燥状態よりは摩擦力を減少する。これと同時に油だめ中のリングの抵抗が増加するため、リング速度は急激に低下するものと思われる。

そしてさらに浸漬深さが増大し臨界値に到達するとリングによる揚油量も増大し、したがって、軸には多くの油が附着し、このような油の粘性のためリングは流体摩擦力のほかさらに若干の引張り力も附加される。一方、油だめ中のリングに対する抵抗値にはさほどの増加がないため、リングはほぼ一定速度で回転するようになるものと考えられる。

(3.2) 揚油量とリング浸漬深さ

使用した潤滑油の粘度を一定とし、種々の軸回転速度の場合について、リング浸漬深さとリングによる揚油重量との関係を求めた1例は図2に白丸点で併記したようである。

この結果から、揚油重量 Q (g/s) はリング浸漬深さの増大に伴ってはじめは急激に増大し、浸漬深さがほぼ一定値0.5cm程度に達すると、各軸速度の場合とも Q は大体一定値を示すようになることがわかる。しかも、図2でリング速度と比較して明らかなように、リング速度 v (cm/s) がほぼ一定となる臨界浸漬深さの近傍で Q もまた一定値を示すようになり、前項で述べたリングに対する油の附着状況が臨界浸漬深さ附近でかなり安定することが推察される。図3はリングの各浸漬深さに対するリング内面の油附着状況を観察した結果を示したもので、これより、以上の推察はほぼ裏付けられるものとする。

(3.3) リング速度の実験式

リング給油式軸受におけるリングの回転速度はその揚油性能とも関係し、リング設計上重要な要因の1つであることは言うまでもない。一般に、長方形断面をもったリングについてそれが臨界浸漬深さに保たれた場合、そのリング回転速度 v に影響する要因としては、軸の周速度 V 、リング幅 b 、リング内径 d_i 、リング重量 W 、油の粘性係数 μ 、重力の加速度 g が考えられる。そこでまず μ をいろいろに変化した場合、 D_2 、 D_3 、 D_6 の3種のリングについて、軸速度を変えてリ

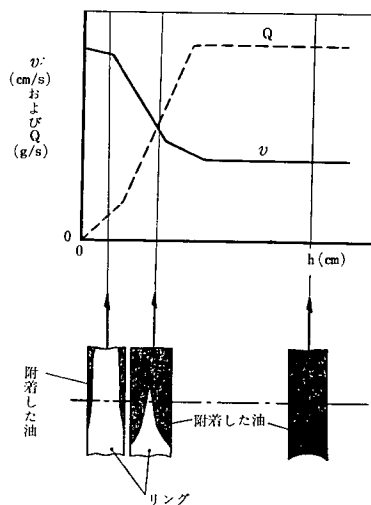


図3 リング内面における油の附着状況

ング速度を求めてみると図4の結果が得られた。これよりリングの種類、すなわちリング寸法や重量による差異ならびに軸速度による差異はかなりあるが、これらが一定である条件における油の粘性係数 μ による v の差異はほとんど認められないことがわかった。したがって以上の結果から、 v をつぎのような式で表わすことにする。

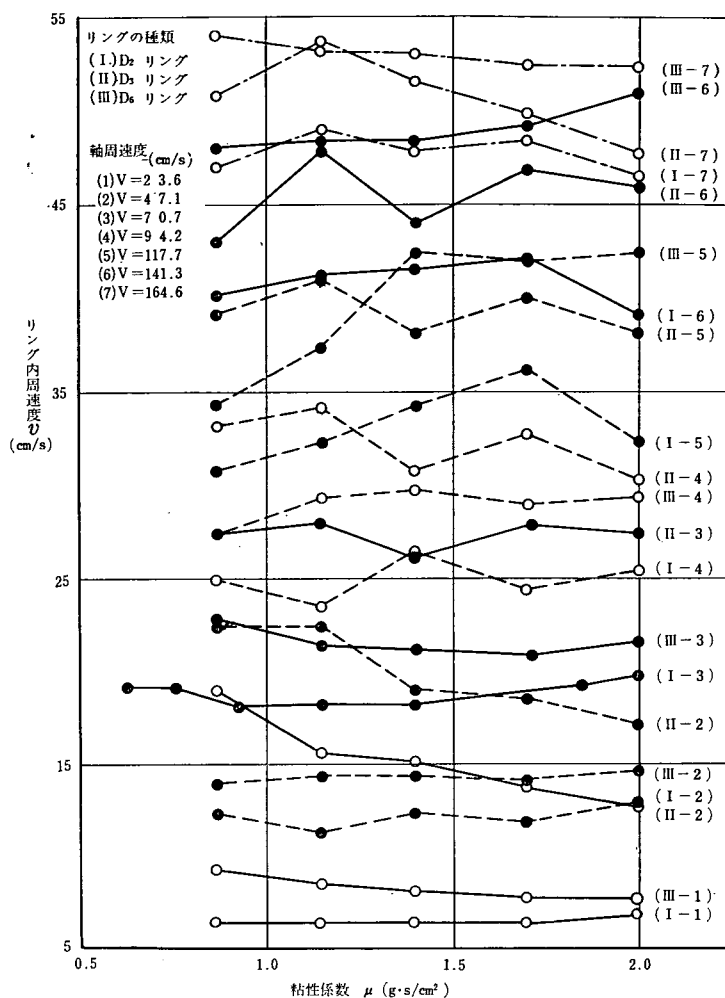


図4 油の粘性係数とリング内周速度との関係

$$v = K_1 V^\alpha b^\beta d_i^\gamma W^\epsilon \dots \dots \dots (1)$$

つぎに、式の各項に次元量を適用して次元解析を行なうと

$$\begin{aligned} [LT^{-1}] &= K_1 [LT^{-1}]^\alpha [L]^\beta [L]^\gamma [MLT^{-2}]^\epsilon [LT^{-2}]^\delta \\ &= K_1 [L]^{\alpha+\beta+\gamma+\epsilon+\delta} [T]^{-\alpha-2\epsilon-2\delta} [M]^\epsilon \dots \dots \dots (2) \end{aligned}$$

したがって、上式より

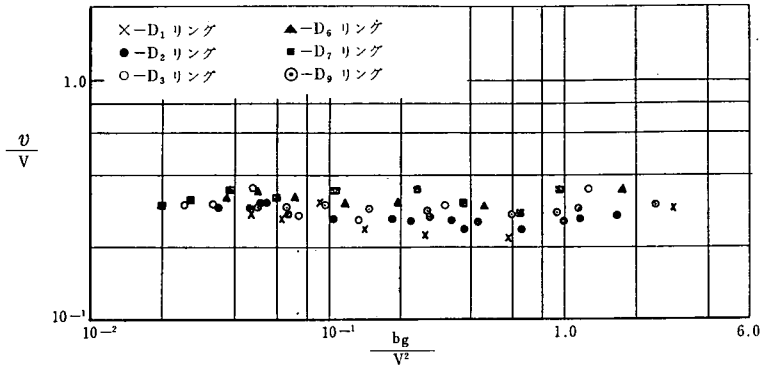
$$\alpha = 1 - 2\delta, \beta = \delta - \gamma, \epsilon = 0 \dots \dots \dots (3)$$

が得られる。式(3)を式(1)に代入して整理し、無次元式に直すと

$$\frac{v}{V} = K_1 \left(\frac{bg}{V^2} \right)^\delta \left(\frac{d_i}{b} \right)^\gamma \dots \dots \dots (4)$$

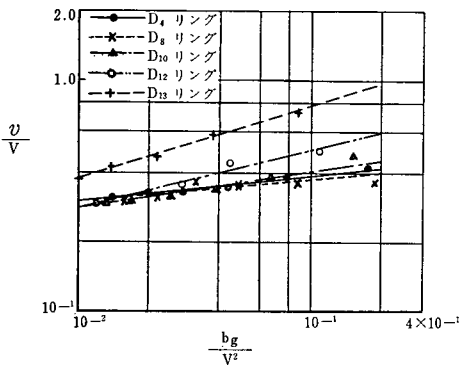
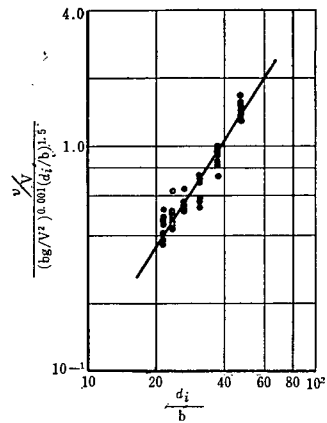
が求められる。つぎに、多くの実験結果から式の係数ならびにべき級数を検討する。まず、

$\frac{v}{V}$ と $\frac{bg}{V^2}$ の関係を $\frac{d_i}{b}$ が 17.4 までの種々のリングについて求めた結果は図5に示すようである。これより $\frac{v}{V}$ に対する $\frac{d_i}{b}$ の差異の影響は認められないし、また、 $\frac{bg}{V^2}$ の影響もほとんど


 図5 種々のリングに対する $\frac{v}{V}$ と $\frac{bg}{V^2}$ の関係 ($\frac{d_i}{b} \geq 17.4$ の場合)

認めることができず、リング速度 v は軸速度のほぼ $\frac{1}{4}$ 程度になることがわかる。

つぎに $\frac{d_i}{b}$ が 21.4 以上の種々のリングについて $\frac{v}{V}$ と $\frac{bg}{V^2}$ の関係を求めると図 6 が得られる。これより、 $\frac{v}{V}$ と $\frac{bg}{V^2}$ の関係は、こう配が $0.001\left(\frac{d_i}{b}\right)^{1.5}$ の直線群となることがわかる。


 図6 種々のリングに対する $\frac{v}{V}$ と $\frac{bg}{V^2}$ の関係 ($\frac{d_i}{b} \geq 21.4$ の場合)

 図7 $\frac{d_i}{b}$ と $\left(\frac{bg}{V^2}\right)^{0.001\left(\frac{d_i}{b}\right)^{1.5}}$ の関係

そこで $\frac{v}{V} / \left(\frac{bg}{V^2}\right)^{0.001\left(\frac{d_i}{b}\right)^{1.5}}$ を求め $\frac{d_i}{b}$ との関係を求めると図 7 が得られ、大体 1 本の直線にのる。これより、 $\gamma = 1.56$ および $K_1 = 0.0033$ が求められる。したがって、この場合のリング速度は

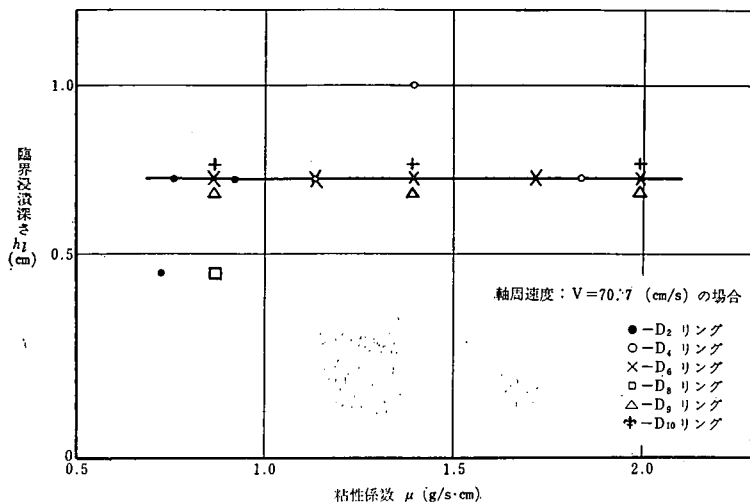
$$v = 0.0033V \left(\frac{d_i}{b}\right)^{1.56} \left(\frac{bg}{V^2}\right)^{0.001\left(\frac{d_i}{b}\right)^{1.5}} \dots\dots\dots (5)$$

で表わされる結果が得られた。ところで、図 6 からわかるように、 $\frac{d_i}{b} \geq 21.4$ のリング、すなわち、比較的幅の狭いリングについても、 $\frac{d_i}{b}$ の値が小さくなるに従って $\frac{v}{V}$ と $\frac{bg}{V^2}$ の関係は一定値 0.25 に近づく傾向が見受けられた。そこで、リングを設計する場合、 $\frac{d_i}{b}$ が 17.4 ~ 21.4 のある値 (本実験からその値は明確にできなかった) 以下になるようにすれば、リング内

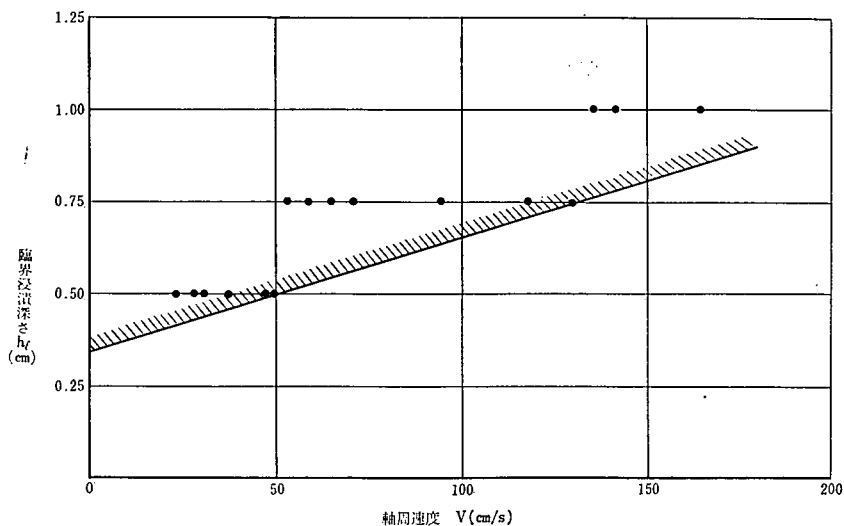
周速度は軸周速度のおよそ $\frac{1}{4}$ 程度になるものと考えてよいことがわかった。

(3.4) 臨界浸漬深さについて

すでに述べたように、リングを臨界浸漬深さにして使用すれば、安定して一定油量を軸受に供給することができる。いま、臨界浸漬深さを h_i (cm) で表わし、種々のリングについて軸速度 V を一定として μ を変化した場合の h_i を求めると図 8 に示す結果が得られた。



これより、 h_i に対するリング寸法、すなわち、 b 、 d_i 、 W および油の粘性係数 μ の影響は無視できるものと考えうる。つぎに、種々の軸周速度に対する h_i を求めた 1 例は、 D_4 リングについて図 9 に示すようである。そこでこれより、 h_i の最小値と V との関係とを求めると



$$h_i = 0.003V + 0.34 \text{ (cm)} \dots\dots\dots (6)$$

が求められる。従来、リング軸受におけるリング浸漬深さとしては、リング内径の $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{6}$ の値が推奨されている⁽⁶⁾。しかし、このような値は、むしろ軸速度に関連される値として理解すべきものであろう。そこで今回の実験条件からこれを臨界浸漬深さとして考えるならば、リング内径の $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{6}$ という浸漬深さは、軸回転数で言っておよそ 1,300~3,000 (rpm) の場合に適應されるもののように思われる。

(3.6) 揚油量の実験式

リングによる揚油量は、リング速度と 1 次的に関連するものと考えてよからう。したがってリング軸度の場合とはほぼ同様に、一般に揚油量 Q は軸の周速度 V 、リング幅 b 、リング内径 d_i 、重力の加速度 g 、油の粘性係数 μ および油密度 ρ の関数と考えられる。いま、

$$Q = K_2 V^\alpha b^\beta d_i^\gamma g^\varepsilon \mu^\delta \rho^\lambda \dots\dots\dots (7)$$

とおき、各量に対して次元式を代入すると

$$\begin{aligned} [MLT^{-2}] &= K_2 [LT^{-1}]^\alpha [L]^\beta [L]^\gamma [LT^{-2}]^\varepsilon [ML^{-1}T^{-1}]^\delta [ML^{-3}]^\lambda \\ &= K_2 [L]^{\alpha+\beta+\gamma+\varepsilon-\delta-3\lambda} [T]^{-\alpha-2\varepsilon-\delta} [M]^{\delta+\lambda} \dots\dots\dots (8) \end{aligned}$$

が得られる。そこで、上式の左右両辺を比較すると

$$\alpha = 1 - 2\varepsilon + \lambda, \quad \beta = 1 + \varepsilon - \gamma + \lambda, \quad \delta = 1 - \lambda \dots\dots\dots (9)$$

が求められる。これらを式に (7) 代入し、無次元式に直すと

$$\frac{Q}{Vb\mu} = K_2 \left(\frac{bg}{V^2} \right)^\varepsilon \left(\frac{Vb\rho}{\mu} \right)^\lambda \left(\frac{d_i}{b} \right)^\gamma \dots\dots\dots (10)$$

が得られる。

つぎに、上式の左辺を右边第 3 項で除し、また、右边第 1 項を第 2 項で割ると、式 (10) はつぎのように直すことができる。

$$\frac{Q}{V\mu d_i} = f \left(\frac{\mu g}{\rho V^3}, \frac{Vb\rho}{\mu} \right) \dots\dots\dots (11)$$

多くの実験結果から $\frac{Q}{V\mu d_i}$ と $\frac{Vb\rho}{\mu}$ を求め、

これらの関係を $\frac{\mu g}{\rho V^3}$ をパラメータにして画く

と図10が得られ、これらの直線群のこう配を求めると $0.05 \left(\frac{\mu g}{\rho V^3} \right)^{-0.6}$ が求められる。そこで、

実験値から $\frac{Q}{V\mu d_i} / \left(\frac{Vb\rho}{\mu} \right)^{0.05 \left(\frac{\mu g}{\rho V^3} \right)^{-0.6}}$ を計算

しこれを $\frac{\mu g}{\rho V^3}$ に対して画くと、各点は図11の

ようなこう配値が大体 1.6 の直線上に乗る。し

たがって、以上から

$$\frac{\frac{Q}{V\mu d_i}}{\left(\frac{Vb\rho}{\mu} \right)^{0.05 \left(\frac{\mu g}{\rho V^3} \right)^{-0.6}}} = 4.5 \left(\frac{\mu g}{\rho V^3} \right)^{1.6} \dots\dots\dots (12)$$

が求められる。

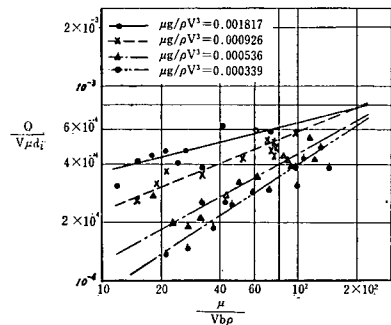


図10 $\frac{Q}{V\mu d_i}$ と $\frac{Vb\rho}{\mu}$ の関係

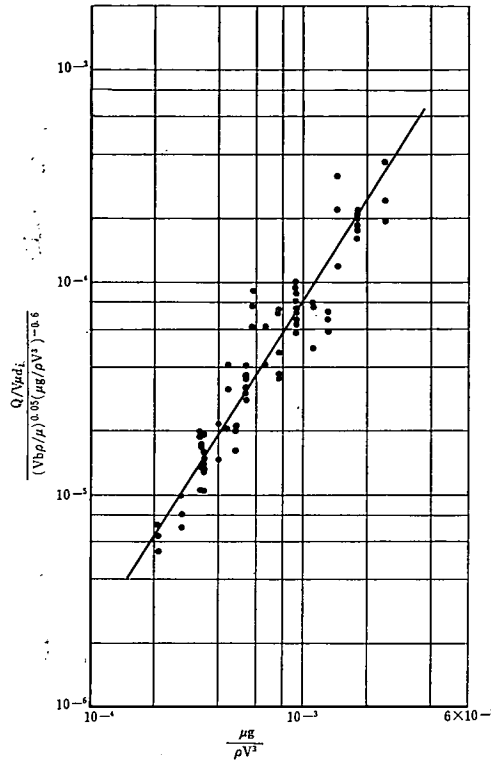


図11 $\frac{\mu g}{\rho V^3}$ と $\frac{Q/V\mu d_i}{(Vb\rho/\mu)^{0.05}(\mu g/\rho V^3)^{-0.6}}$ の関係

4 む す び

リング軸受の設計資料を得る目的から、実験装置を作製し、各種寸法の長方形断面リングについて軸回転数および油粘度を変化した場合のリング速度、浸漬深さ、揚油量を測定した結果を要約するとつぎのようである。

(1) リング速度および揚油重量は、リングが油中に浸漬される深さがある一定値 (h_i) 以上になると、浸漬深さとは無関係になる。

(2) このときのリング速度は、リング内径 d_i と幅 b の比 $\frac{d_i}{b}$ が 17.4~21.4 の間のある値以下ならば、軸周速度の大体 $\frac{1}{4}$ になると考えてよい。また、 $\frac{d_i}{b} \geq 21.4$ の場合のリング速度について次元解析を行ない、1つの実験式にまとめた。

(3) リングの臨界浸漬深さは、リング寸法や油の粘度には無関係であり、軸の周速度だけから決定される。

(4) リングによる揚油量すなわち、リング軸受の場合の給油量について次元解析を行ない、多くの実験結果から実験式をみちびいた。

終りにのぞみ、本実験に終始熱心に協力してくれた松村五三男実験助手ならびに小林信之、江川日出男両君に対し心からの謝意を表します。

参 考 文 献

- (1) G. B. Karelitz : Performance of Oil-Ring Bearings, ASME vol. 52. (1930)
- (2) 岩波繁蔵, 他 : 日本機械学会論文集23巻, 133号 (昭32)
- (3) E. Baildon : The Performance of Oil-Rings, Inst, Mech. Engrs., Group 1 (1937)
- (4) R. A. Baudry, L. M. Tichvinsky : Performance of Oil Rings, Mech. Eng. vol 59 (1937)
- (5) 狩野三郎 : 機械設計便覧 (共立出版)